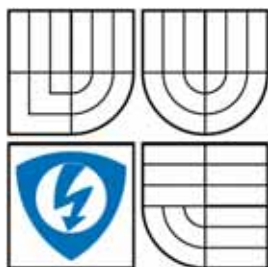




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘÍCÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ZOBRAZOVÁNÍ 3D DAT

3D DATA PRESENTATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR BASTL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILOSLAV RICHTER, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Petr Bastl
Ročník: 3

ID: 98359
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Zobrazování 3D dat

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Popište metody realizace prostorového zobrazování z PC a používané datové formáty. Zhodnoťte kvalitu vjemu zobrazení. Navrhněte nejvhodnější reprezentaci vstupních dat a metod zobrazení. Vybrané metody realizujte a zhodnoťte dosaženou kvalitu. Provedte pro různé metody a reprezentace dat.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Kraus K.: Photogrammetrie 1 und 2, Ummier / Bonn, 1996
Žára J., Beneš B., Sochor J., Felkel P.: Moderní počítačová grafika, Computer Press, 1998, ISBN 80-251-0454-0
Hlaváč V., Šonka M.: Počítačové vidění, Grada, Praha 1992, ISBN 80-85424-67-3
Faugeras O.: Three-Dimensional Computer Vision, The MIT Press 1993

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Richter, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

A b s t r a k t

Tato práce seznamuje s metodami zprostředkovávajícími pozorovateli prostorový vjem. Podává přehled stereoskopických metod. Blíže se v práci popisují algoritmy pro generování autostereoskopických SIRDS obrazů. Dále je popsán problém pořizování stereo fotografií a problémy při vytváření anaglyfů. Práce uvádí také přehled technologií a formátů dat pro projekci a přenášení prostorového obrazu. Je rozebrán postup pro generování pohledů na 3D scénu reprezentovanou 2D snímkem a hloubkovou mapou tzv. DIBR metodou. Jsou také popsány problémy při promítání stereosnímků dvěma projektory na promítací plátno za použití anaglyfických filtrů a polarizačních filtrů.

Klíčová slova: stereoskopie, autostereoskopie, SIRDS, anaglyf, 3DTV, hloubková mapa, DIBR, polarizace, 3D projekce, polarizační filtry.

A b s t r a c t

This bachelor thesis informs about methods for 3D perception. Basic principles of autostereoscopic methods are described here. Algorithms for creating autostereoscopic SIRDS pictures are depicted closely. Also problems of taking stereoscopic photos and problems during making anaglyphs are explained. An overview of technologies and formats for projection and simulcast spatial image is stated in this thesis. The procedure for generating the view on 3D scene from 2D image and depthmap by means of so-called depth-image-based rendering (DIBR) techniques is analyzed. Problems of projection stereo images by two projectors and anaglyphic or polarizing filters on projection screen are detailed as well.

Keywords: Stereoscopy, Autostereoscopy, SIRDS, Anaglyph, 3DTV, Depthmap, DIBR, Polarization, 3D Projection, Polarizing Filter.

Bibliografická citace

BASTL, P. *Zobrazování 3D dat*. Bakalářská práce. FEKT VUT v Brně, 2009. 47 s., 3 přílohy. Vedoucí práce ing. Miloslav Richter, Ph.D.

P r o h l á š e n í

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma zobrazování 3D dat jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne :

Podpis:

P o d ě k o v á n í

Děkuji tímto ing. Miloslavu Richterovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

V Brně dne :

Podpis:

OBSAH

ÚVOD	10
1. ZOBRAZOVÁNÍ 3D DAT	11
1.1 Lidské Prostorové vidění	11
1.2 3D Data a jejich možné formáty	12
1.3 Pořizování prostorových dat	13
1.4 Přenos 3D videa pro účely 3DTV	14
1.5 Základní principy stereoskopie	16
1.5.1 Akomodace vs. Konvergence	17
1.6 Přehled Stereoskopických metod	19
1.6.1 Metody vyžadující pro rekonstrukci 3D obrazu brýle	19
1.6.2 Metody nevyžadující k rekonstrukci 3D obrazu brýle - autostereoskopie ...	19
1.7 SIRDS	21
1.7.1 Princip řešení SIRDS	21
1.7.2 ANSI SIRDS	23
1.7.3 SIRDS z bodů	24
1.8 ANAGLYF	25
1.8.1 Kalibrace filtrů	26
1.8.2 Použití anaglyfů	29
1.9 Experimenty s anaglyfy	29
1.9.1 Snímání dat	29
1.9.2 Vytvořené anaglyfy	29
1.10 DIBR	31
1.10.1 Metoda	31
1.10.2 Vlastní řešení	32
1.10.3 Experimenty s videem	36
1.10.4 Výhody a nevýhody	37
1.11 Stereo projekce s polarizačními filtry	38
1.11.1 Polarizační filtry	38
1.11.2 Projekce a polarizace	39
1.11.3 Kalibrace projektorů	40

1.11.4	Experimenty – stereoskopická projekce	41
2.	ZÁVĚR.....	43
3.	LITERATURA	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: ATTEST 3D-video [3]	15
Obrázek 2: schéma prostorového multiplexu WOWvx 2D-plusDepth [14].....	15
Obrázek 3: schéma prostorového multiplexu WOWvx Declipse[14].....	16
Obrázek 4: Poloha bodů na obrazovce v závislosti na jejich poloze ve scéně.....	17
Obrázek 5: Pozitivní a negativní disparita	18
Obrázek 6: Technologie firmy NEWSIGHT[7].....	19
Obrázek 7:Lentikulární technologie SeeReal [8].....	20
Obrázek 8: holografika.com [9]	20
Obrázek 9: princip holografického displeje (SeeReal)[15].....	20
Obrázek 10: Sirds - princip	21
Obrázek 11: Nelinearita hloubky a paralaxy.....	22
Obrázek 12: ANSI SIRDS	23
Obrázek 13: SIRDS, pozitivní disparita, šířka vzorku 40 bodů.....	24
Obrázek 14: Princip filtrů u anaglyfu	25
Obrázek 15:Odstíny barev korespondující s filtry brýlí.....	26
Obrázek 16:Grafické zobrazení modelu HSV [6].....	27
Obrázek 17: Normalizovaná tyrkysová barva.....	28
Obrázek 18: Deformace prostoru	30
Obrázek 19:DIBR	31
Obrázek 20: DIBR - k odvození vztahu mezi obrázky	31
Obrázek 21: Modifikace hloubkové mapy	33
Obrázek 22: vlevo původní (zdroj: internet), vpravo generovaný obraz	34
Obrázek 23: Srovnání metody DIBR – Vlevo program StereoTracer a vpravo vlastní program	34
Obrázek 24: Postupná generace DM – nahoře původní (zdroj: internet), dole nový. 35	
Obrázek 25: Schéma streoprojekce (F – filtr, P – projektor)	38
Obrázek 26: Typy polarizace[17].....	38
Obrázek 27: Funkce polarizátoru a analyzátoru[17].....	39
Obrázek 28: SIRDS - nahoře s korekcí, dole bez korekce nelinearity, vzdálenost pozorovatele je 2382 pixelů odpovídá cca trojnásobku výšky obrázku.....	6

Obrázek 29: Nahoře – posun kamer o 15cm, dole – natočení kamer o 5 stupňů.....	7
Obrázek 30: Anaglyf – kamery posunuty o 15 cm	7
Obrázek 31: Anaglyf – kamery natočené o 5°	8
Obrázek 32: Snímky blízké scény – kamery posunuty o 6 cm	8
Obrázek 33: Snímky blízké scény, vystupující obraz	9
Obrázek 34: Nerektifikované a rektifikované snímky [18].....	10

ÚVOD

V posledních letech je trendem veškeré informace převádět, ukládat a prezentovat v digitální podobě a spolu s tím roste rozšíření počítačové techniky a jejího výkonu. To všechno vytváří předpoklady pro stále věrnější presentaci reálného světa digitální technikou. Ať už hrajete hru na počítači nebo se díváte na film, je snahou virtuální reality nebo filmového (počítačového) triku vtáhnout diváka do děje a přesvědčit ho, že neskutečné je skutečné. Doposud byla většina obrazových informací zobrazována 2D na rozličných zobrazovacích zařízeních. Člověk má ale dvě oči a díky nim je schopen usuzovat na vzdálenost pozorovaných předmětů. Lidé mají tzv. stereoskopické vidění a cílem mnoha firem a vývojových pracovišť je podat mu informace tak, aby je vnímal zcela přirozeně, tedy i s informací o hloubce.

Proto, abychom byli schopni zprostředkovat lidskému vnímání prostorovou informaci, musíme se seznámit, jak lidské smysly 3D informace získávají a jaké faktory ovlivňují vnímání hloubky. Zobrazování 3D dat v sobě zahrnuje řetězec pořízení dat nesoucích 3D informaci, jejich zpracování pro přenos či uložení, následné dekódování a technologie pro zobrazení 3D informace divákovi.

Cílem je seznámit se s problematikou zobrazování 3D dat a vypracovat přehled metod pro přenos a zobrazování prostorové informace a vybrané metody realizovat.

1. ZOBRAZOVÁNÍ 3D DAT

1.1 LIDSKÉ PROSTOROVÉ VIDĚNÍ

Lidské oko je zjednodušeně řečeno tvořeno čočkou a sítnicí. Přicházející světlo prochází čočkou, která jej soustřeďuje do ohniska na sítnici. Na sítnici jsou umístěny světločivé buňky – tyčinky a čípky. Tyčinky jsou přizpůsobeny k vnímání odstínů, čípky k vnímání barev. Lidské oko tedy dává dvojrozměrný obraz.

Lidský zrak však není schopen rozeznávat pouze tvary a barvy předmětů, ale také to, jak jsou jednotlivé předměty umístěny v prostoru. Prostorovou informaci zprostředkovávají dvě oči umístěné v jisté vzdálenosti od sebe. Každé oko tak vidí stejnou scénu, ale pod jiným úhlem. Lidský mozek si pak oba obrazy spojí v jeden prostorový. Zakryjeme-li si ale jedno oko, stále vnímáme okolí prostorově. Je to způsobeno tím, že mozek neposuzuje vzdálenost pouze z binokulárního vidění, ale také ze zkušenosti. Ze zkušenosti víme, že vzdálený strom je vyšší nežli postava stojící opodál. Stejně nás může ale mozek klamat například při pohledu na vycházející Měsíc, kdy se zdá v porovnání s předměty na obzoru mnohem větší než vysoko na obloze. Další vodítko při určování hloubky v prostoru můžou být paralelní linie, kdy ze zkušenosti víme, že se v dále sbíhají, nebo barva předmětu, která se se vzdáleností mění. Vzduch není stejně propustný pro všechny vlnové délky světla, a proto objekty značně vzdálené ztrácejí barvu, stávají se modrošedé až temné (les v dálce).

Naprostá většina metod pro zprostředkování prostorového obrazu člověku je právě stereoskopická. Snaží se tedy různými strategiemi dopravit stereo obrazy k příslušným očím.

1.2 3D DATA A JEJICH MOŽNÉ FORMÁTY

Tato kapitola shrnuje informace obsažené v [13]. Každý formát by pro své prosazení na trh měl splnit následující požadavky.

- využít současné přenosové cesty a formáty
- minimalizovat změny současných prostředků přenosu dat
- zajistit zpětnou kompatibilitu
- podporovat maximální množství technologií zobrazovacích zařízení
- kvalitu

SIMULCAST je formát, kdy jsou pohledy nezávisle zakódované v paralelních streamech. Dekodéry obou pohledů musí být synchronizovány. Obraz může být kódován MPEG-2 a přenášen stávající přenosovou soustavou. Je tedy možná zpětná kompatibilita.

STEREO INTERLEAVING značí, že pohledy pro obě oči jsou kódovány například v časovém nebo prostorovém multiplexu:

- časový multiplex
 - pohledy pro pravé a levé oko jsou střídány
 - podporováno H.264/AVC Stereo SEI Message
- prostorový multiplex
 - pohledy pro pravé a levé oko umístěny nad sebou či vedle sebe
 - nevýhoda: bez zpětné kompatibility

Další možností je přenášet 2D obraz a hloubkovou mapu, podle které se pohledy pro jednotlivé oči vygenerují. Pro takový přenos informace slouží například kodek ISO/IEC 23002-3 (MPEG-C part 3). Tento formát umožňuje bezproblémový přenos videa, nezávislost na zobrazovací technologii, zpětnou kompatibilitu a efektivní kompresi. Formát je blíže popsán v [14].

1.3 POŘIZOVÁNÍ PROSTOROVÝCH DAT

Při pořizování obrazových dat platí, že informace, které nezískáme při snímání, nelze žádným pozdějším zpracováním rekonstruovat. Následující text čerpá z [1]. Na komplexní snímání scény se lze dívat dvěma extrémními pohledy. Jeden extrém je při použití několika běžných kamer tak, že každá snímá scénu z různého úhlu. Ostatní pohledy pak lze aproximovat z pohledů nejbližších kamer. Druhým extrémem je snímání technikou digitální holografie. Pokroky ve vývoji technologií CCD a CMOS ukazují, že v budoucnu snad nebude nemožné zaznamenávat přímo digitální hologram.

Konceptuálně nejjednodušším řešením snímání scény je snímat scénu více kamerami z míst, odkud na ni bude díváno. Při promítání jsou pak vybrány dva stereosnímky pro divákovy oči. Při takové koncepci by bylo třeba teoreticky nekonečného množství kamer. V praxi se používá od 2 do 20 kamer uspořádaných v kamerovém poli. Data jednotlivých kamer jsou přenášeny v synchronizovaných kanálech. Chybějící pohledy se získají aproximací sousedních kamer.

Pro snazší zpracování pořízeného obrazu se kamery kalibrují. Zkalibrované kamery znamenají, že jsou známy parametry o vzájemné poloze kamer a kamer vůči scéně. Kalibrace se provádí ze znalosti polohy 3D bodu ve scéně a poloh tohoto bodu na obrazech jednotlivých kamer. Máme-li zkalibrované kamery, můžeme řešit opačný problém – ze znalosti polohy bodu na dvou snímcích různých kamer vypočítat polohu 3D bodu ve scéně. Nalezení dvojice bodů v nasnímaných snímcích a výpočet pozice 3D bodu ve scéně může být prováděno automaticky. Hledání dvojice je zjednodušeno znalostí kalibračních informací. Díky nim lze přiřadit každému bodu ve snímku jedné kamery přímky ve snímcích ostatních kamer, na kterých se má daný bod hledat. Takové přímky se nazývají epipolární linie.

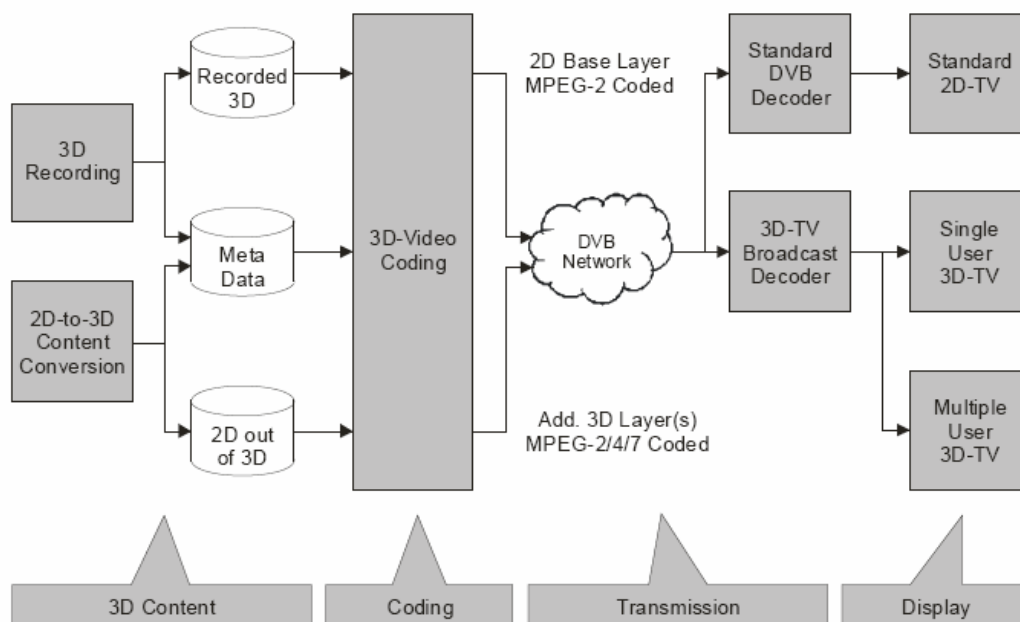
Umíme-li nalézt 3D souřadnice bodů scény, můžeme scénu popsat povrchovým 3D modelem. Povrch je určen sítí polygonů, kde uzly sítě jsou tvořeny zjištěnými 3D souřadnicemi bodů scény. 3D model může být reprezentován sítí trojúhelníků nebo plochami NURBS. Na model pak lze namapovat texturu. Z 3D modelu již není problém dalším zpracováním získat například hloubkovou mapu.

1.4 PŘENOS 3D VIDEO PRO ÚČELY 3DTV

V následující kapitole popisují způsoby kódování videa pro účely 3DTV. Čerpám zde z [1], [3] a [14]. Problém je také popisován v [19].

Pro rostoucí zájemem o 3DTV technologie vyvinula Moving Pictures Expert Group (MPEG) způsob kódování stereoskopického videa jako součást stávajícího formátu MPEG-2. Řešení je známé jako Multiview Profile (MVP). Obraz pro levé oko je kódován v základní vrstvě, odpovídající MPEG-2 Main Profile (MP). Tím je zaručena zpětná kompatibilita se stávajícími 2DTV přijímači. Obraz pro pravé oko je zakódován v další pomocné vrstvě.

Jiný způsob přenosu 3D informace zvolili v European Information Society Technologies (IST) v projektu “Advanced Three-Dimensional Television System Technologies” (ATTEST). Je zde použit jeden kanál pro dvojrozměrný barevný obraz a jeden kanál pro hloubkovou mapu nesoucí informaci o každém bodu z obrazového kanálu. Pohledy pro pravé a levé oko se následně spočítají tzv. DIBR technikou (depth-image-based rendering). Zpětné kompatibility je dosaženo použitím standardních formátů pro přenos obrazového a hloubkového kanálu (např. MPEG-2 (ISO/IEC 1996), MPEG-4 Visual (ISO/IEC 1999) nebo Advanced Video Coding (AVC) (ISO/IEC 2003)).



Obrázek 1: ATTEST 3D-video [3]

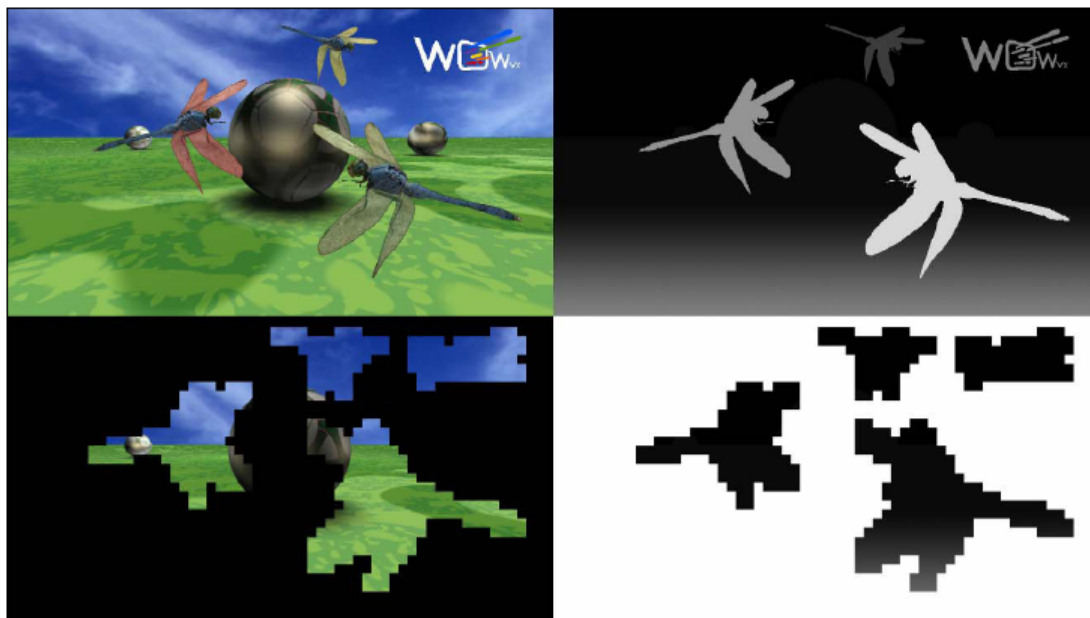
Svůj způsob kódování 2D videa a hloubkové mapy nabízí formáty WOWvx od firmy PHILIPS. V jejich koncepci jsou data umístěna v prostorovém multiplexu. WOWvx formáty jsou dvojího typu:

1. WOWvx 2D-plusDepth formát



Obrázek 2: schéma prostorového multiplexu WOWvx 2D-plusDepth [14]

2. WOWvx Declipse formát

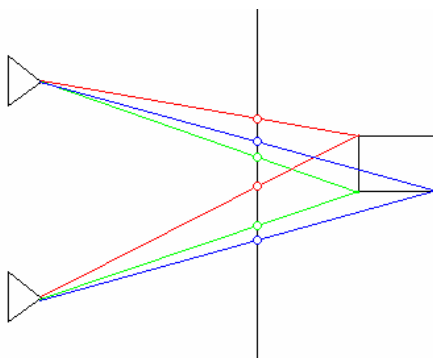


Obrázek 3: schéma prostorového multiplexu WOWvx Declipse[14]

Formát WOWvx Declipse umožňuje přenášet také informace o pozadí skrytých za blízkými předměty. Tato informace je použita pro odstranění problému generování obrazu z pohledu natočené kamery (více v kapitole DIBR). Formáty WOWvx jsou popsány v [14].

1.5 ZÁKLADNÍ PRINCIPY STEREOSKOPIE

Základem každé stereoskopické metody je dostat příslušný obraz k příslušnému oku. Zobrazujeme-li takový obraz pomocí obrazovky nebo promítacího plátna, vytvoří každý bod na obrazovce právě dva body, pro každé oko jeden. Tyto body jsou od sebe vzdáleny v závislosti na hloubce daného 3D bodu, vzdálenosti pozorovatele (případně kamer) od objektu a vzájemné vzdálenosti očí (kamer). Situaci ukazuje obrázek 4.



Obrázek 4: Poloha bodů na obrazovce v závislosti na jejich poloze ve scéně

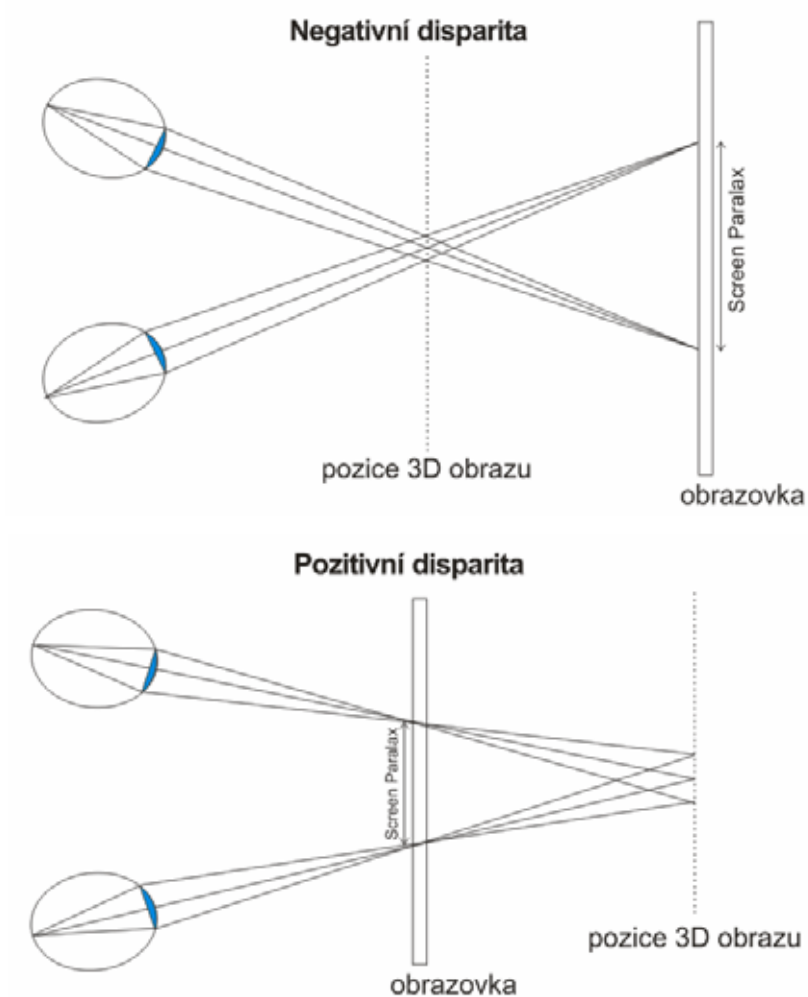
Vzdálenější body jsou od sebe na stínítku ve větší vzdálenosti, než body blíže stínítku. Množina bodů pro pravé (levé) oko tvoří obraz, který je vidět z pohledu pravého (levého) oka. Je již na dané metodě, jak se ošetří, aby pravé oko nevidělo či nevnímalo body pro levé oko a naopak.

1.5.1 Akomodace vs. Konvergence

Akomodace neboli ostření. Při promítání stereoskopického obrazu zaostří oko pozorovatele na obrazovku, ale obě oči se sejdou (konvergují) v jisté vzdálenosti před či za obrazovkou.

Při pohledu na skutečnou scénu však oči ostří a konvergují v jednom bodě. Tato rozdílnost (disparita) při pohledu na stereoskopický obraz vede k nadměrnému namáhání očí, zvláště u starších diváků.

Disparita úzce souvisí s paralaxou bodu na obrazovce, což je vzdálenost mezi obrazy jednoho 3D bodu na obrazovce. Paralaxa by neměla být větší než vzdálenost očí (je-li rovna, díváme se do nekonečna).



Obrázek 5: Pozitivní a negativní disparita

1.6 PŘEHLED STEREOSKOPICKÝCH METOD

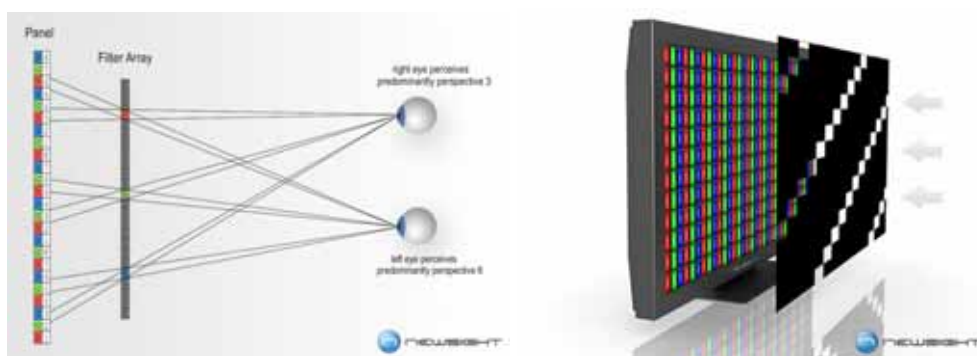
Na trhu je velké množství firem, které vyvíjí prostředky pro stereoskopické a autostereoskopické vidění. V kapitole uvádím přehled rozdělení metod [1],[11] a dále čerpám z materiálů jednotlivých firem.

1.6.1 Metody vyžadující pro rekonstrukci 3D obrazu brýle

- Pasivní
 - Anaglyf
 - Polarizační technologie – IMAX 3D
- Aktivní - brýle musí být synchronizovány se zobrazovačem
 - DepthQ

1.6.2 Metody nevyžadující k rekonstrukci 3D obrazu brýle - autostereoskopie

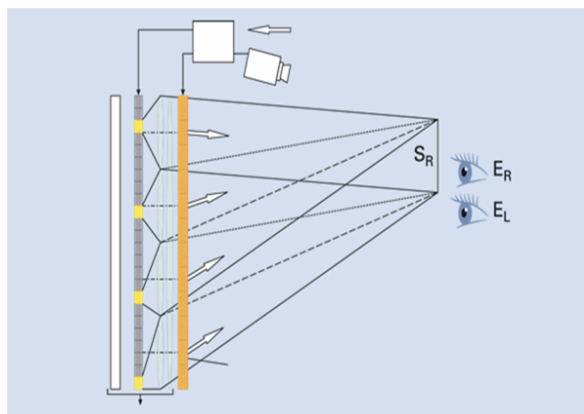
- SIRDs
- Subpixel filtr
- Firma NEWSIGHT využívá k vytvoření 3D vjemu klasický LCD display v kombinaci s parallaxní bariérou, která umožňuje vidět každým okem dané body z různých směrů a různých barev.



Obrázek 6: Technologie firmy NEWSIGHT[7]

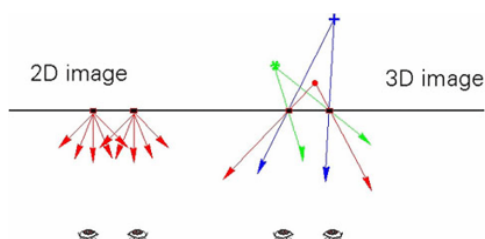
- Lentikulární technologie
- Firma SeeReal k vytvoření 3D obrazu používá také binokulárního vidění. Soustava čoček před monitorem umožňuje vidět z různých úhlů jiné obrazy. Aby

byl danému oku přiřazen správný obraz i při pohybu diváka nebo při větším počtu diváků, jsou oči diváků sledovány a obraz dle jejich polohy modifikován.



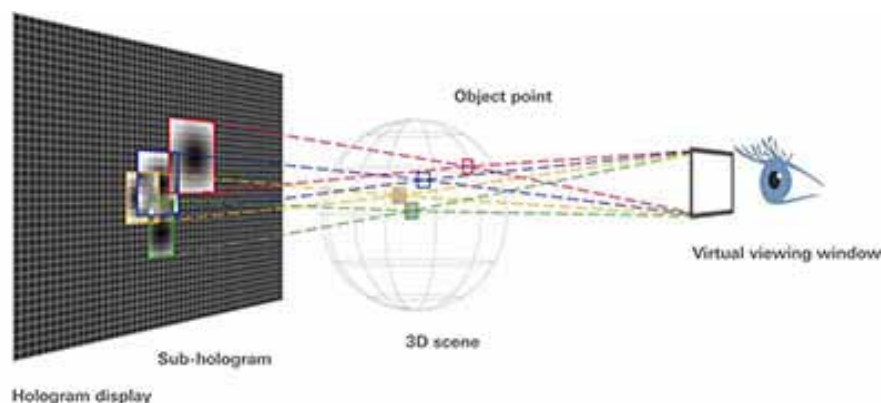
Obrázek 7: Lentikulární technologie SeeReal [8]

- Holografický display
- Maďarská firma Holografika využívá geometrických principů holografie. Není tedy založena na difrakci světla, ale jejich displeje dokáží vysílat informace o bodech do různých směrů. Popsáno v [9].



Obrázek 8: holografika.com [9]

- Holografický display vyvíjí také firma SeeReal.



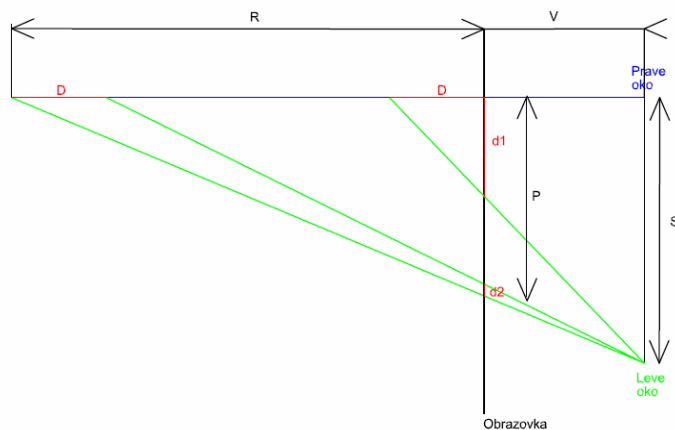
Obrázek 9: princip holografického displeje (SeeReal)[15]

1. vygeneruj vzorek
2. procházej hloubkovou mapu po řádcích a prvcích:

- a. je-li hloubka bodu větší než bodu předchozího, přidej prvek do vzorku a vytiskni ho
- b. je-li hloubka bodu menší než bodu předchozího, odeber prvek ze vzorku a vytiskni následující
- c. je-li hloubka stejná, jako bodu předchozího, vytiskni následující prvek vzorku.

Z tohoto principu plyne základní omezení SIRDS: počet zobrazitelných úrovní hloubky odpovídá počtu prvků ve vzorku. Skutečná délka vzorku na stínítku je omezena stejně jako paralaxa. Nesmí být větší než vzdálenost očí. S rostoucí délkou vzorku (paralaxou) roste hodnota disparity, což může vést k nadměrnému namáhání očí. Při velké změně paralaxy dochází i k velké změně hloubky. To působí rušivě, protože oči se musí přizpůsobit a konvergovat k jinému bodu. Jsou-li tedy v obrázku velké rozdíly v délce vzorku, vidíme obrázek jakoby s malou hloubkou ostrosti. Jako řešení lze použít omezení maximální délky vzorku nebo obrázek umístit do omezeného rozsahu hloubky.

Jiný problém vyplývá z nelinearity hloubky a paralaxy. Situaci ukazuje obrázek 11. Při stejné změně hloubky o D dojde v závislosti na celkové hloubce k rozdílným změnám vzorku o d_1 a d_2 . Důsledek této nelinearity je deformace hloubky 3D obrazu. Při výpočtu SIRDS tuto nelinearitu uvažujeme, jestliže předpokládáme stálou polohu očí a všechny paprsky se tedy sbíhají do jednoho bodu. A nelinearitu zanedbáváme, uvažujeme-li rovnoběžné paprsky.



Obrázek 11: Nelinearita hloubky a paralaxy

Deformace hloubky je závislá na vzdálenosti pozorovatele od obrazovky. Uvažujeme-li sbíhající se paprsky, je vzdálenost pozorovatele určena. Deformace však není téměř patrná, je-li pozorovací vzdálenost dostatečně velká. Deformace není výrazná, ani když uvažujeme rovnoběžné paprsky, a pro prosté vytvoření 3D efektu toto zjednodušení nijak nevádí. V příloze 1 jsou obrázky pro srovnání s korekcí nelinearity a bez korekce.

1.7.2 ANSI SIRDs

Pro lepší pochopení tvoření SIRDs je dobré začít s takzvanými ASCII SIRDs, kde jsou prvky vzorku písmena. Chceme-li jít o úroveň hloubky nahoru (dolů), začneme opakovat vzorek o písmeno kratší (delší).



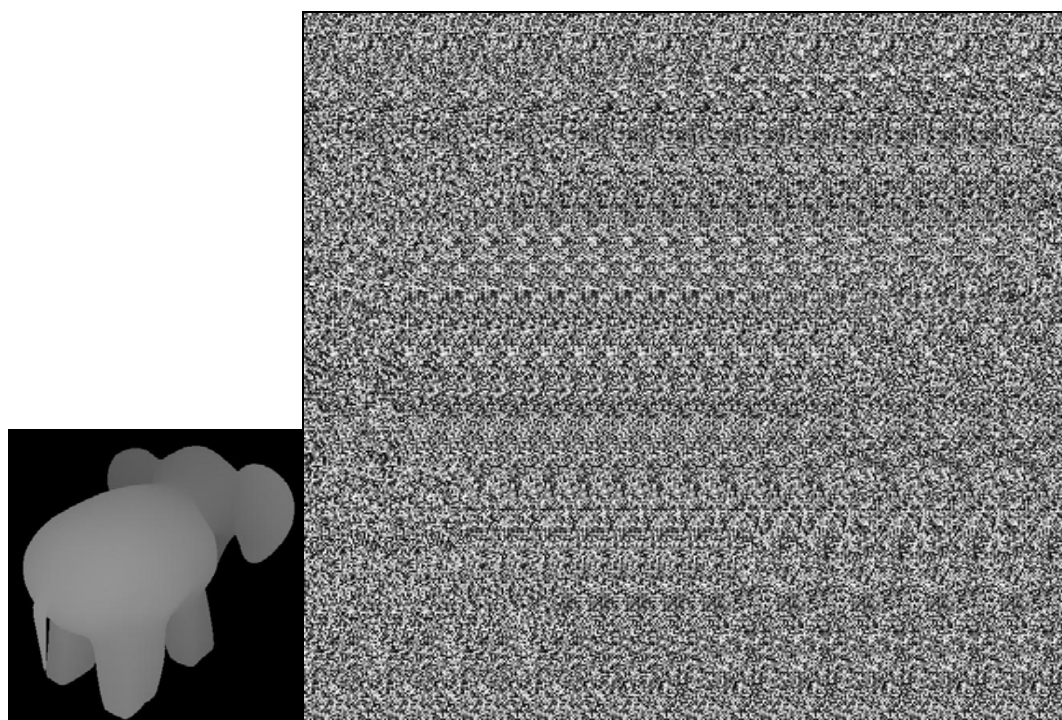
Obrázek 12: ANSI SIRDs

Při generování ansii SIRDs bereme v úvahu rovnoběžné paprsky, neboť vzorek je příliš hrubý a korekce nelinearity hloubky a paralaxy by jím stejně nebyla možná. Jako zdroj dat pro vytvoření ASCII SIRDs je možné použít textový soubor, který vyplníme čísly značícími hloubku místa, na kterém jsou napsány.

- Výhody:
 - Jednoduchý a pochopitelný algoritmus
- Nevýhody:
 - Vzorek je hrubý a tím je také omezen počet hloubkových vrstev 3D obrázku.
 - Není možnost použít na objekt texturu.
 - Algoritmem nelze přejít mezi pozitivní a negativní disparitou.

1.7.3 SIRDS z bodů

Pravidla pro generování jsou stejná, ale vzorek je tvořen body o různém odstínu šedé. Těchto bodů je dostatečné množství, aby bylo možné vytvářet obrázky o relativně velkém rozlišení. Jako předloha pro vytvoření SIRDS obvykle slouží hloubková mapa, monochromatický obraz, kde světlejší body označují vyšší hladinu, než body tmavší. Na prostorový obraz však není možné nanést libovolnou texturu.



Obrázek 13: SIRDS, pozitivní disparita, šířka vzorku 40 bodů

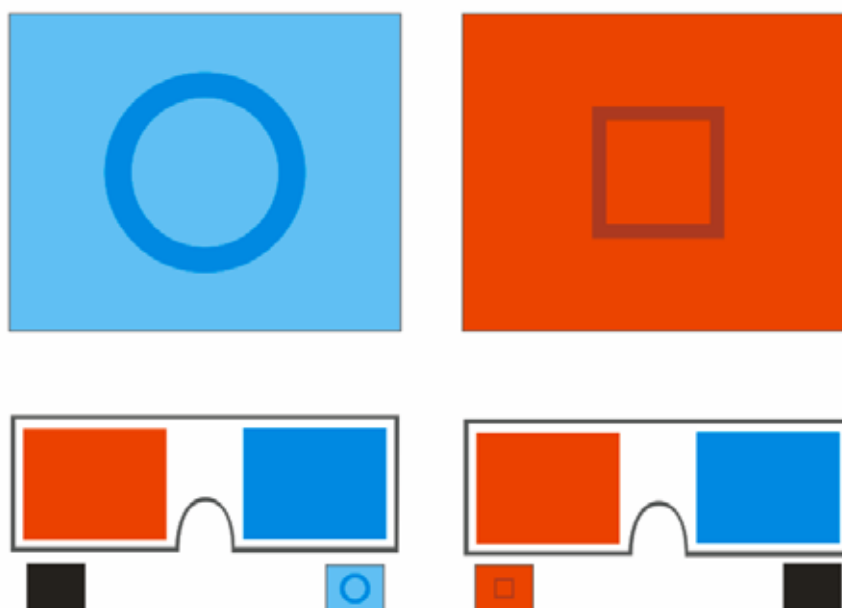
1.7.3.1 Implementace algoritmu v programu

Pro dobrý prostorový vjem i na okrajích obrazu, je dobré vzorek při okraji zopakovat.

Jako strukturu pro uchovávání vzorku jsem zvolil oboustranně kruhově zřetěžený seznam. Při změně hloubky není tedy třeba jako u implementace polem posouvat prvky pole. To vede k výraznému zrychlení celého výpočtu.

1.8 ANAGLYF

Anaglyf je metoda využívající pro stereoskopické zobrazení brýlí s barevnými filtry. Obrazy pro pravé a levé oko jsou obarveny v závislosti na barvě filtru a poté oba obrazy smíchány. Barevný filtr propouští ideálně pouze světlo o takové barvě (vlnové délce), ze které je vyroben.



Obrázek 14: Princip filtrů u anaglyfu

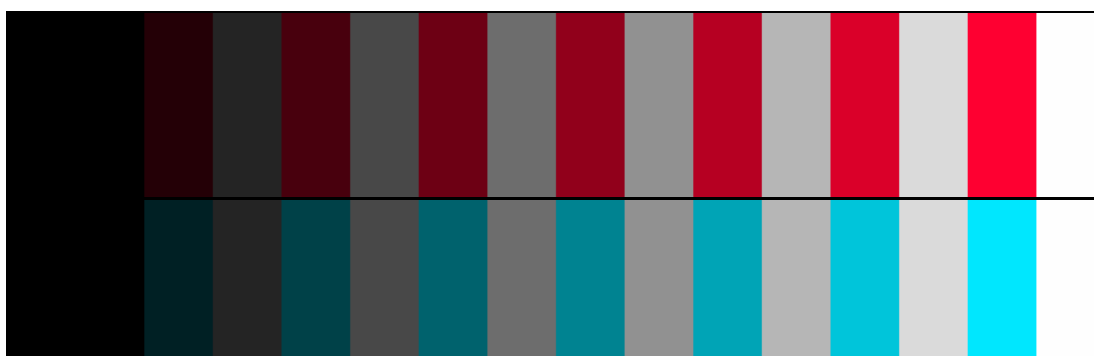
V závislosti na metodě obarvování obrázků mluvíme o černobílých a barevných anaglyfech. Černobílý anaglyf ztrácí veškerou informaci o barvě, protože vzniká převedením obrázků nejprve do stupně šedi, jejich následným obarvením barvami příslušných filtrů a složením obrázků v jeden. Barva filtrů může být libovolná, ale volí se většinou červený, zelený či modrý nebo jejich kombinace, protože korespondují s technologií zobrazování na LCD nebo CRT monitoru a také koresponduje s lidským vnímáním. Pro vytvoření barevného anaglyfu je podmínkou mít takové filtry, které propustí celé spektrum. Například červený a modrozelený (azurový) filtr. V ideálním případě se pak z příslušného obrázku vypustí spektrum filtru toho oka, kterému obraz nepatří.

1.8.1 Kalibrace filtrů

Každé barvě ve spektru bílého světla odpovídá vlastní vlnová délka - od nejdelších vlnových délek červeného světla až po nejkratší vlnové délky fialového světla.

Barevný monitor využívá tři základních barev – červené, zelené a modré. Ostatní barvy vznikají mícháním barev základních. Monitor tedy vydává světlo pouze o třech vlnových délkách. Není proto možné měřit spektrum filtru a dle něj nastavovat barvu na monitoru.

Nejsme-li schopni vytvořit na monitoru takovou barvu, která by odpovídala vlnové délce filtru, budeme přes takový filtr pozorovat také část informace patřící druhému oku. Tato informace se projeví jako „duchové“. Tento rušivý efekt můžeme odstranit, najdeme-li alespoň takovou barvu, kdy si při pozorování příslušným filtrem budou odpovídat jasové změny dané barvy a změny odstínu šedé. Zároveň musí být splněno, že při pozorování druhým filtrem se bude daná barva filtrovat jako konstantní tmavá šedá, ideálně černá, a to i se změnou jejího jasu. Na následujících obrázcích jsou zobrazeny palety odstínů barev nalezených pro brýle používaných při mých experimentech.



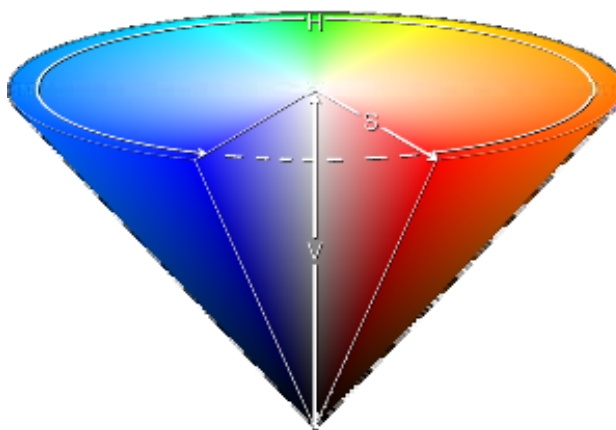
Obrázek 15: Odstíny barev korespondující s filtry brýlí

Kalibrujeme tedy barvy, kterými obarvujeme (filtrujeme) obrázky jednotlivých očí. Barvy jsem nastavoval následovně. Vykreslil jsem si odstíny šedé a vedle nich jsem nechal vykreslit odstíny barvy filtru. Volbou parametrů barvy jsem se snažil vyhovět výše uvedeným pravidlům pro eliminaci „duchů“. Není vhodné určovat parametry barvy podle modelu RGB, protože změna odstínu pomocí RGB

složek není intuitivní. Výhodnější je zvolit model HSV (popsán v [6]), který nejlépe odpovídá lidskému vnímání barev.

HSV označuje parametry barvy:

- Hue – barevný tón neboli odstín. Je uváděn jako poloha na standardním barevném kole (0° - 360°)
- Saturation – sytost barvy. Udává množství šedi v poměru k odstínu v procentech.
- Value – jas. Udává relativní světlost či tmavost barvy v procentech.



Obrázek 16: Grafické zobrazení modelu HSV [6]

Konverze RGB do HSV:

V následujícím textu je označeno: b , r a g složky barev modrá, červená a zelená v rozsazích $<0, 1>$; \max a \min je maximální a minimální hodnota složek b , r a g ; h je barevný odstín (0° - 360°) a s a v je saturace a světlost $<0, 1>$.

$$h = \begin{cases} \text{nedefinován,} & \text{jestliže } \max = \min \\ 60^\circ \times \frac{g - b}{\max - \min} + 0^\circ, & \text{jestliže } \max = r \text{ a } g \geq b \\ 60^\circ \times \frac{g - b}{\max - \min} + 360^\circ, & \text{jestliže } \max = r \text{ a } g < b \\ 60^\circ \times \frac{b - r}{\max - \min} + 120^\circ, & \text{jestliže } \max = g \\ 60^\circ \times \frac{r - g}{\max - \min} + 240^\circ, & \text{jestliže } \max = b \end{cases} \quad (2.6.1)$$

$$s = \begin{cases} 0, & \text{jestliže } \max = 0 \\ \frac{\max - \min}{\max} & \text{jestliže } \max \neq 0 \end{cases} \quad (2.6.2)$$

$$v = \max \quad (2.6.3)$$

Konverze HSV do RGB:

$$h_i = \left[\frac{h}{60} \right] \bmod 6 \quad (2.6.4)$$

$$f = \frac{h}{60} - h_i \quad (2.6.5)$$

$$p = v \times (1 - s) \quad (2.6.6)$$

$$q = v \times (1 - f \times s) \quad (2.6.7)$$

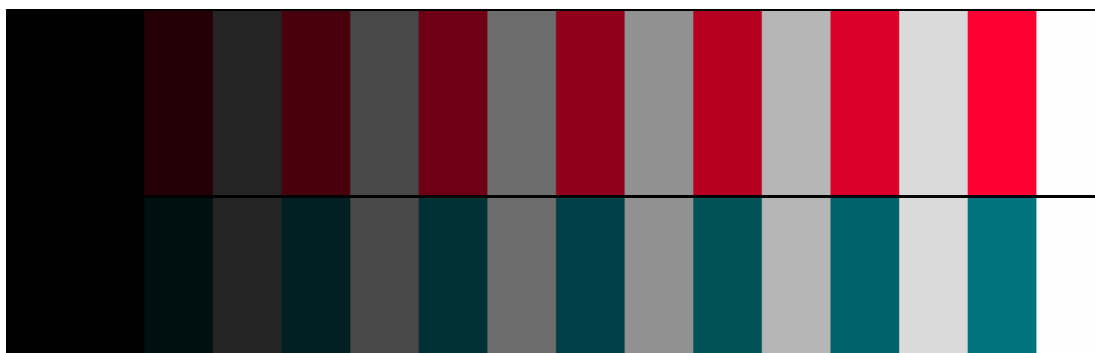
$$t = v \times (1 - (1 - f) \times s) \quad (2.6.8)$$

$$(r, g, b) = \begin{cases} (v, t, p), & \text{jestliže } h_i = 0 \\ (q, v, p), & \text{jestliže } h_i = 1 \\ (p, v, t), & \text{jestliže } h_i = 2 \\ (p, q, v), & \text{jestliže } h_i = 3 \\ (t, p, v), & \text{jestliže } h_i = 4 \\ (v, p, q), & \text{jestliže } h_i = 5 \end{cases} \quad (2.6.9)$$

Nalezené barvy je třeba ještě normalizovat dle jejich energie. Energie barvy udané v RGB složkách se vypočte jako:

$$I = 0.3 \cdot R + 0.59 \cdot G + 0.11 \cdot B \quad (2.6.10)$$

Za předpokladu, že filtry na brýlích propouští stejné množství světla, stačí poměrem snížit jas barvy s vyšší energií.



Obrázek 17: Normalizovaná tyrkysová barva

1.8.2 Použití anaglyfů

Pro svoji jednoduchost a malé náklady jsou anaglyfy velmi rozšířené především na internetu. Jsou jimi publikovány například fotografie NASA nebo je umožněn export z různých kreslicích programů (AutoCAD).

1.9 EXPERIMENTY S ANAGLYFY

Pro vytváření anaglyfů jsem vytvořil proceduru v jazyce C++. Procedura využívá knihovny openCV pro zpracování obrazů. Jako parametr se volí obrazy a filtry pro pravé a levé oko a jejich vzájemné posunutí v horizontálním a vertikálním směru.

1.9.1 Snímání dat

Stereofotografie se pořizují fotoaparáty se speciálními objektivy, které vyfotí scénu ze dvou pohledů a oba obrázky jsou pak paralelně na jedné fotografii. Lze použít také jeden fotoaparát se stativem a vyfotit scénu ze dvou pohledů vzájemně posunutých o vzdálenost očí (standardně 6 cm). Paralelnost fotoaparátu se však špatně nastavuje a není možné snímat dynamickou scénu, protože obrazy nejsou časově synchronizovány.

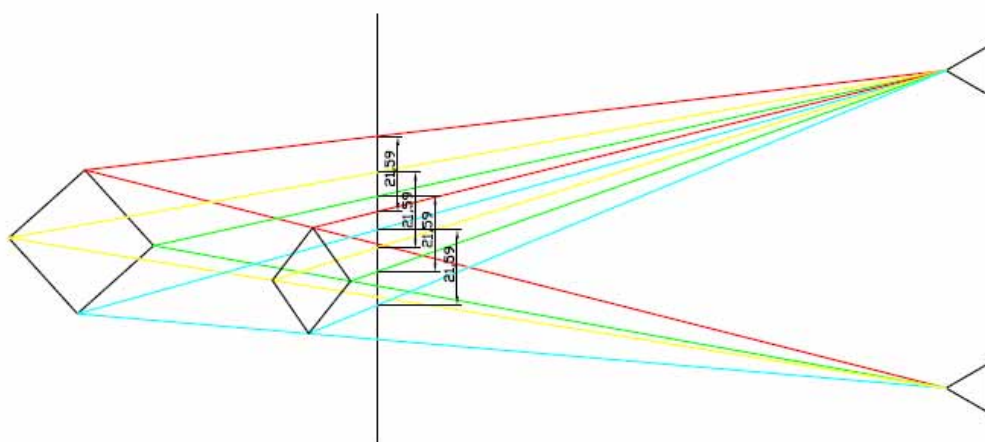
Data jsem snímal digitálním fotoaparátem Kodak Z740 při ohnisku 38 mm (ekvivalent).

1.9.2 Vytvořené anaglyfy

Při snímání exteriéru jsem použil metodu paralelních kamer a srovnal ji s metodou, kdy jsem kameru jen otočil kolem svislé osy. Kameru jsem v prvním případě posouval s přihlédnutím ke vzdálenosti scény o 15 cm. V druhém případě jsou kamery natočeny o 5 stupňů. Na obrázcích v příloze 2 jsou vidět pořízené snímky. Prostorový efekt vznikne v obou případech. Natočením kamer je efekt výraznější, ale méně přirozený. Přirozenější stereopár fotografií získáme tzv. rektifikací, kdy dochází k transformaci fotky z jejího souřadnicového systému do souřadnicového systému druhé fotky (obrázek 34 v příloze 2).

Fotíme-li blízkou scénu, jsou nejbližší objekty v negativní paralaxe a vystupují z obrazu ven, jako je tomu na obrázku 33 v příloze 2.

Program umožňuje korekci posunu obrazů v horizontálním a vertikálním směru. Při korekci však dochází k deformaci prostorové informace. Při přiblížení obrazů směrem k sobě dochází ke zmenšení pozitivní paralaxy, posunu objektu blíže obrazovce a jeho zploštění. Situace je ukázána na obrázku 18. Dalším přibližováním by postupně body přecházely do negativní paralaxy a objekt by začal vystupovat z obrazovky.



Obrázek 18: Deformace prostoru

Při výrobě anaglyfu je dobré mít možnost korigovat paralaxu. Lze tak nastavit, aby byl 3D objekt dobře pozorovatelný, například kdyby bylo třeba 3D efekt zvýraznit či potlačit.

Snímky pro tvorbu anaglyfů není nutné snímat speciálními fotoaparáty. Při snímání za pomoci posunutí fotoaparátu je mozek schopný odchylky vzniklé manuálním nastavením tolerovat.

Nejpřirozenějšího obrazu jsem dosáhl při paralelním posunutí kamery. Při snímání pootočenými kamerami dochází při okrajích obrazu k horizontálnímu posunu snímků vůči sobě.

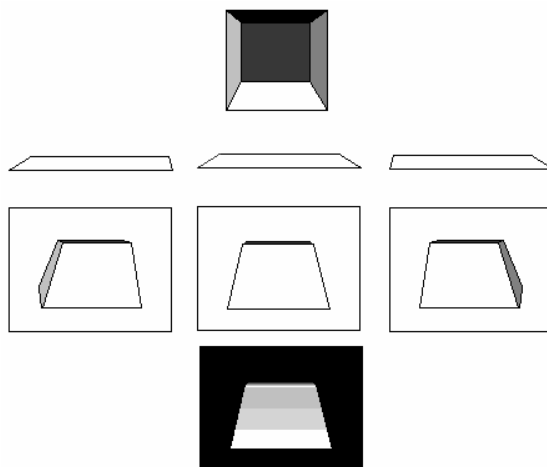
Nastavení filtrů není dokonalé a dochází-li s prudkou změnou hloubky také ke změně jasu, nejsou filtry schopny odfiltrovat takto vzniklou jasovou změnu v anaglyfu.

1.10 DIBR

DIBR neboli depth-image-based rendering je metoda generování sekundárních obrazů na základě znalosti základního 2D obrazu a jemu odpovídající hloubkové mapy. Metoda je popsána v [19] a [20].

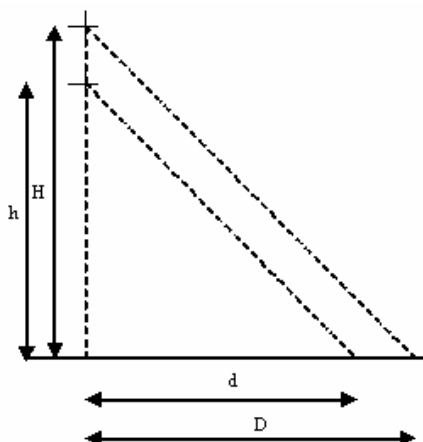
1.10.1 Metoda

Cílem metody je generování obrazu posunutého vůči základnímu v ose x , v závislosti na vzdálenosti scény určenou z hloubkové mapy. Pro zjednodušení výpočtu je vhodné uvažovat rovnoběžné promítání.



Obrázek 19:DIBR

Odvození vztahu mezi obrázky vychází z podobnosti trojúhelníků na obrázku 20.



Obrázek 20: DIBR - k odvození vztahu mezi obrázky

Úhel, pod kterým se dívá na scénu druhá posunutá kamera, určíme jako tangentu

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D}{H}, \quad (2.6.11)$$

a posunutí pak jako

$$d = h \cdot \frac{D}{H}. \quad (2.6.12)$$

Při odvozování předpokládám, že body na hloubkové mapě a základním obrázku si odpovídají.

Při generaci dalších pohledů je třeba vyřešit tyto problémy:

1. jak nahradit místa, která v původním obrázku nejsou vidět (případ bočních hran na obrázku 19)
2. Viditelnost překrývajících se částí scény.
3. Interpolaci nevykreslených bodů.

Jestliže máme pouze jeden základní obrázek a potřebujeme takový nový úhel pohledu, že je třeba zobrazit i původně neviditelnou část, nemáme šanci zjistit, co je na této části vyobrazeno. Do jisté míry použitelné řešení je vhodná interpolace okolních bodů takové oblasti.

Jiným řešením je použití třetího obrazu s pozadím celé scény. Pozadí se uplatní právě v oblastech, které byly před transformací skryté (např. formát WOWvx Declipse [14]).

Viditelnost je třeba řešit v případě, že více 3D bodů se zobrazí jako jeden v novém pohledu. Potom je třeba, aby se bližší body vykreslovaly jako poslední - nižší vrstvy zůstanou skryty.

1.10.2 Vlastní řešení

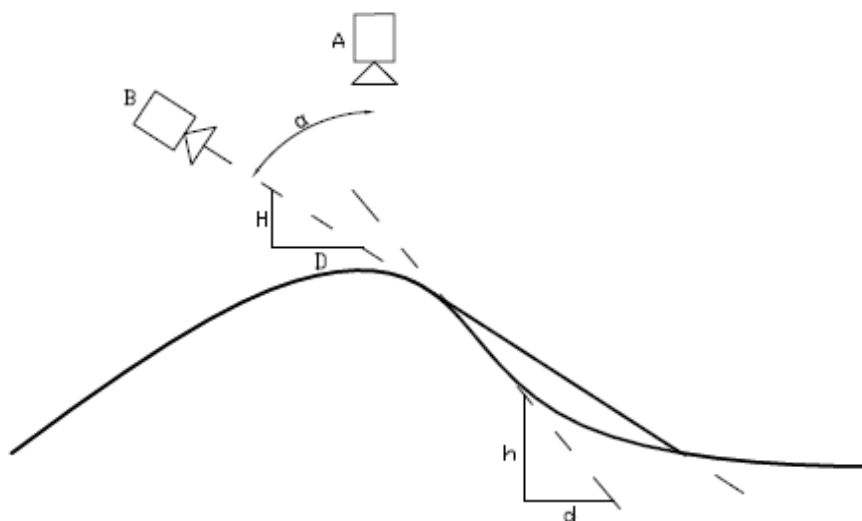
V programu jsem uvedené problémy vyřešil následovně. V prvním kroku upravím hloubkovou mapu tak, aby nevznikaly nedefinovaná místa z důvodu velké hloubkové změny a velké změny pohledu. Mapu upravuji tak, že pokud je požadován náhled na scénu z pravé strany, tak každou změnu hloubky doprava dolů rozmažu pod úhlem pohledu kamery. Derivace změny hloubky mapy musí být menší než derivace

pohledu kamery (obrázek 21). Z pohledu kamery A je vidět celá scéna. Z pohledu kamery B musí být hloubková mapa upravena:

$$\frac{h}{d} \leq \frac{H}{D}. \quad (2.6.13)$$

V druhém kroku generuji pohled na hloubkovou mapu pod požadovaným úhlem. Tím vzniká nová hloubková mapa, kterou lze použít pro zpětné namapování textury na nový pohled. Oproti generování přímo nového pohledu má tento postup výhody:

- v generovaném pohledu na hloubkovou mapu je snazší interpolovat chyby, než kdyby se generoval obraz.
- zpětné mapování textury a modifikace hloubkové mapy v prvním kroku řeší problém interpolace původně skrytých míst a interpolaci obecně.
- zpětným mapováním textury je vyřešen problém viditelnosti bližších a vzdálenějších objektů.



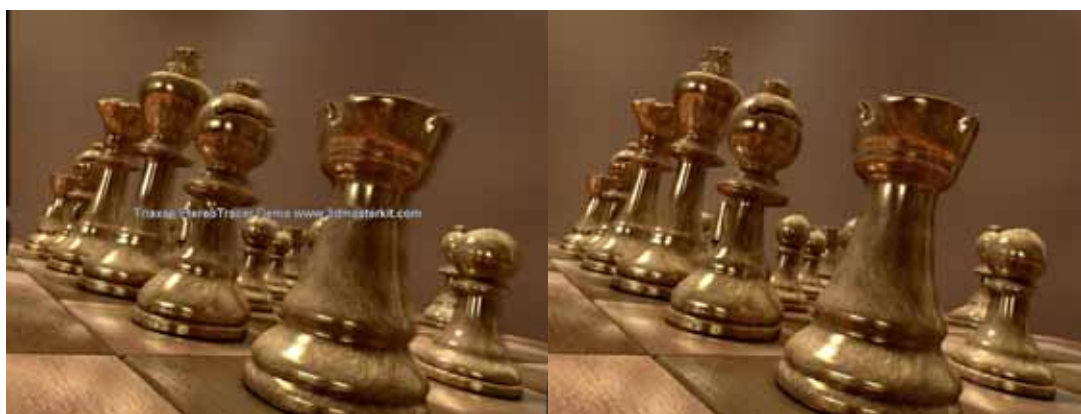
Obrázek 21: Modifikace hloubkové mapy



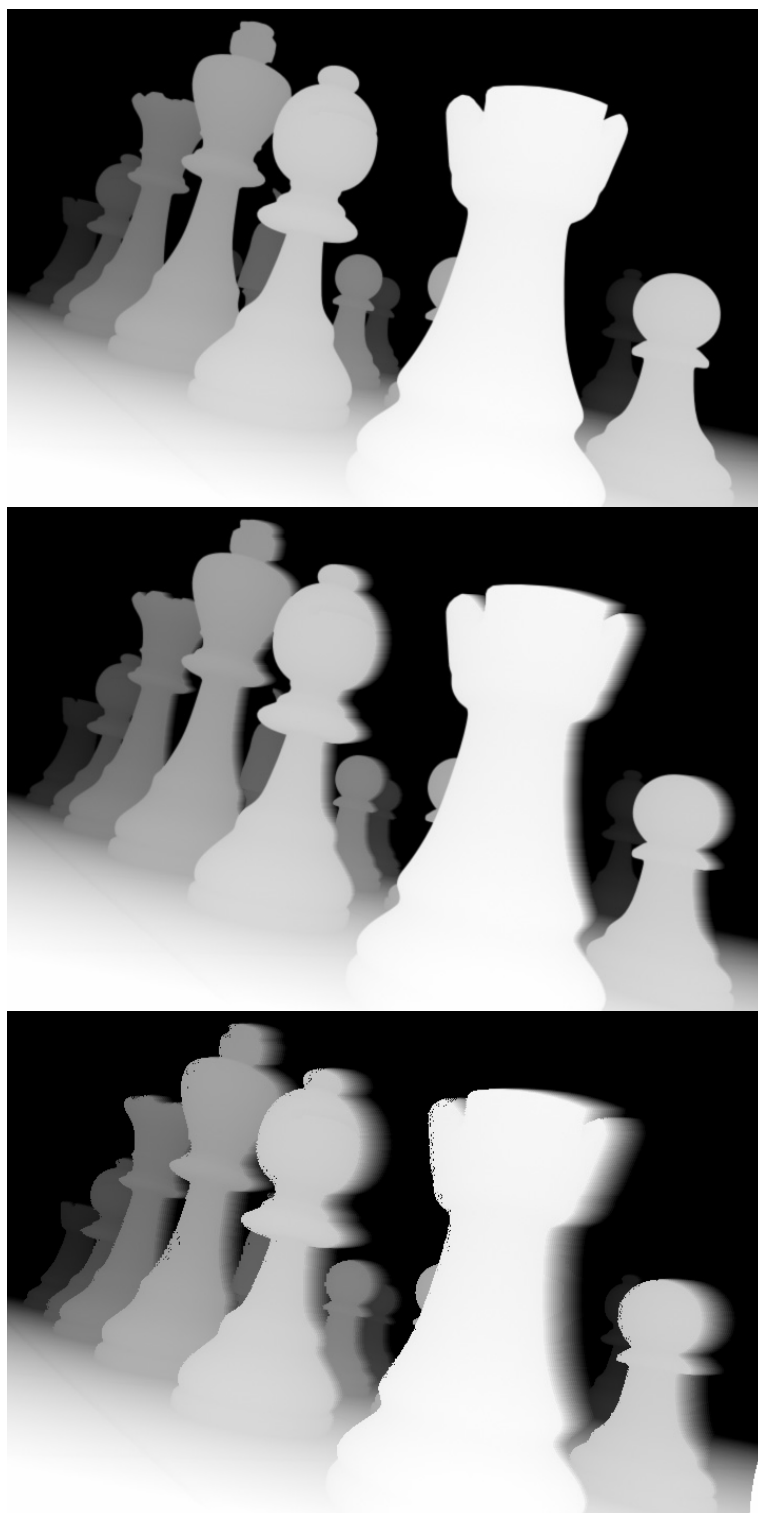
Obrázek 22: vlevo původní (zdroj: internet), vpravo generovaný obraz

Na obrázku 22 si můžeme povšimnout nedokonalosti při generování nového pohledu v místech, která byla prve skryta. Základna pěšce vpravo vzadu je rozmazána směrem věži. Způsobuje to skutečnost, že věž a pěšec na obraze těsně navazují a jsou vůči sobě v rozdílných vzdálenostech. V novém obraze se od sebe oddálí a původní přechod je interpolován – roztáhnut.

Své výsledky jsem porovnával s výstupy programu StereoTracer od firmy Triaxes. Na obrázku 23 je vidět, že oba programy rozmazávají hrany pouze na jedné straně. Rozdílný je způsob vyplnění oblastí, které na vstupním obraze nebyly vidět. Můj způsob vyplňování je na první pohled méně rušivý, než programu StereoTracer.



Obrázek 23: Srovnání metody DIBR – Vlevo program StereoTracer a vpravo vlastní program



**Obrázek 24: Postupná generace DM – nahoře původní (zdroj: internet), dole
nový**

1.10.3 Experimenty s videem

Pro testování jsem vytvořil program založený na knihovně OpenCV schopný zpracovávat video se snímky podle rozložení prostorového multiplexu WOWvx. Na stránkách <http://www.wowvx.com/> [16] jsou ke stažení videa ve formátu WOWvx. Stažená videa jsou kódována kodekem WVC-1, standard disků Blue-Ray a HD DVD. Protože knihovna OpenCV standardně nepodporuje tento kodek, převedl jsem původní videa na kódování MPEG-4, které OpenCV podporuje.

Program pro konvertování videa umožňuje nastavit parametry DIBR a anaglyfu. Následně vygeneruje dva video soubory. V jednom je uloženo anaglyfické video a ve druhém je video, ve kterém jsou snímky pro levé a pravé oko uloženy v časovém multiplexu. Ukládám tak snímky proto, že implementovaný DIBR algoritmus není schopný generovat snímky v reálném čase. Video se snímky v časovém multiplexu pak promítám pomocí přehrávače.

Přehrávač stereo snímky zobrazuje do dvou oken, které jsou pak promítány příslušnými projektory. Program také dovoluje snímky zkalibrovat, pro správné zobrazení na projekční ploše. Kalibrace se provádí de facto geometrickou transformací obrazu. Ta je výpočetně náročná na to, aby bylo video přehráváno plynule. Lepších výsledků by bylo dosaženo například s použitím knihovny OpenGL a výpočtu na grafické kartě.

Stereoskopický vjem u videa je odlišný od vnímání statického obrazu. Zatímco u statických snímků vystačíme s malou paralaxou, u videa si oči na malou paralaxu přivyknou a 3D efekt se stává nevýrazným. Je proto třeba při výpočtu nastavit větší vzdálenost kamer a negativní disparitu převést na pozitivní vertikálním posunem snímků vůči sobě (změnou paralaxy).

1.10.4 Výhody a nevýhody

Výhody DIBR

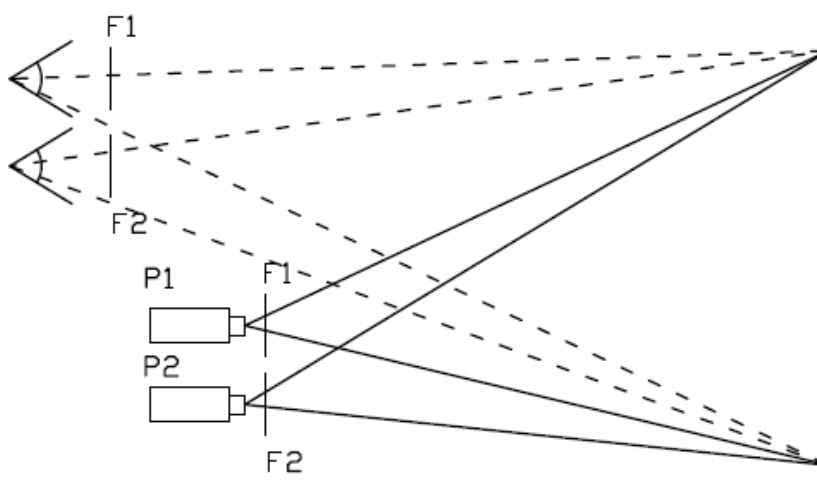
- ✓ Při přenosu videa pro 3DTV je možné použít jakékoli zobrazovací zařízení. Potřebný formát dat zajistí přijímač, který bude generovat data z 2D obrazu a hloubkové mapy.
- ✓ Hloubkovou mapu lze generovat také z klasického 2D videa z pohybu kamery
- ✓ Není třeba přenášet velké množství dat – pohledy jsou generovány na straně přijímače
- ✓ Jsou vyloučeny asymetrie mezi pohledy v barvě, jasu, kontrastu
- ✓ Uživateli je umožněno si vlastnosti obrazu přizpůsobit podle jeho potřeby. (Například rozdílné vlivy velikosti paralaxy na výsledný 3D efekt mezi staršími a mladšími diváky)
- ✓ Kompatibilita s 2D zobrazovači.

Nevýhody DIBR

- ✗ Kvalita je závislá na kvalitě hloubkové mapy.
- ✗ Nutnost řešit viditelnost míst v novém pohledu, která původně nebyla vidět.
- ✗ 2D obraz a hloubková mapa nejsou schopny adekvátně generovat scény s atmosférickými jevy jako mlha či kouř nebo s poloprůhlednými předměty jako sklo.
- ✗ Náročné na algoritmus a jeho implementaci oproti jiným 3D technikám. (u 3DTV – nutnost generovat obrazy v reálném čase).

1.11 STEREO PROJEKCE S POLARIZAČNÍMI FILTRY

Základem pro stereoskopickou projekci jsou dva projektory s dvojicí komplementárních filtrů a brýle se stejnou dvojicí filtrů.



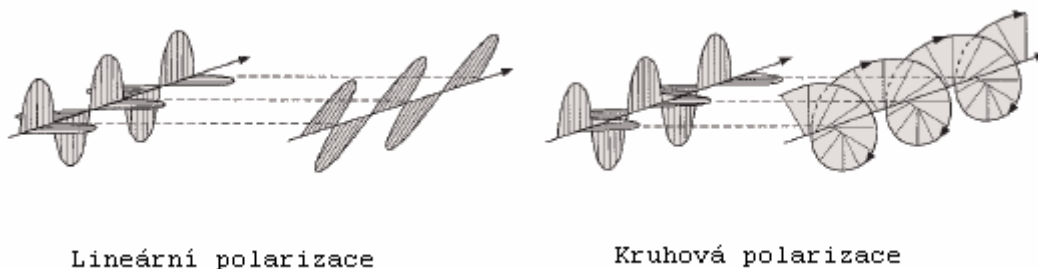
Obrázek 25: Schéma streoprojekce (F – filtr, P – projektor)

1.11.1 Polarizační filtry

Světlo je elektromagnetické záření. Klasické světlo není polarizované – vektor intenzity elektrického pole \vec{E} je náhodně orientován všemi směry. Vektor intenzity \vec{E} polarizovaného světla je orientován jedním směrem.

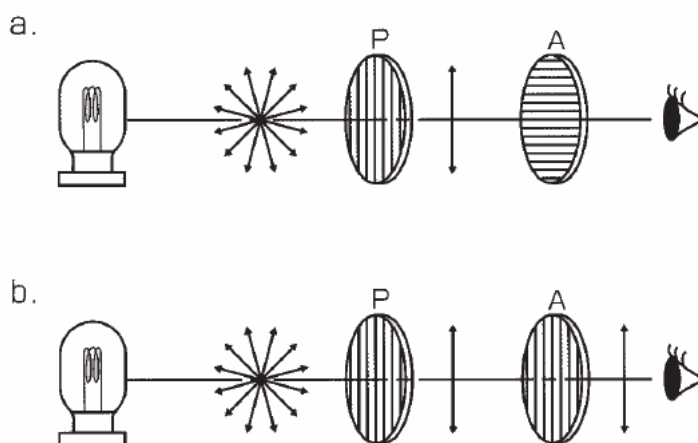
Požívají se dva typy polarizačních filtrů:

- Lineární polarizační filtr
- Polarizační filtr s kruhovou polarizací



Obrázek 26: Typy polarizace[17]

Lineární polarizační filtr propouští světlo pouze o dané orientaci \vec{E} . Funkci polarizačního filtru s kruhovou orientací si lze představit tak, že se nejprve vybere pouze světlo s jednou orientací \vec{E} (jako u lineárního filtru), ale následně je vektor roztočen. Filtry s kruhovou polarizací se používají u fotoaparátů s automatickým zaostřováním a měřením expozice, protože polarizované světlo by nemuselo vlivem polarizace odrazem dorazit k čidlům. Filtr sloužící k polarizaci světla se nazývá polarizátor, filtr pro následnou filtraci nebo propuštění analyzátor.



Obrázek 27: Funkce polarizátoru a analyzátoru[17]

1.11.2 Projekce a polarizace

Pro vytvoření stereoskopického, polarizačního, projekčního systému je třeba kromě projektorů, projekčních filtrů a speciálních polarizačních brýlí, také speciální projekční plátno, které polarizované světlo nedepolarizuje. Profesionální projekce využívá galvanizovaná plátna. Je to proto, že polarizované světlo se při dopadu na nekovové předměty zpět depolarizuje.

Pro laboratorní pokusy jsem testoval způsoby vytvoření vlastní nedepolarizující projekční plochy, protože profesionální plátna pro polarizační 3D projekci jsou cenově málo dostupná. Pokusy s konvenčními plátny pro přední projekci s difúzně odrážejícím povrchem (typ D, např. Blankana) ukázaly nevhodnost těchto povrchů pro projekci polarizovaného světla. Dále jsem

experimentoval s metalickými povrchy pozinkovaného plechu, aluminiové fólie a zinkového spreje pro zinkování za studena.

Pozinkovaný plech se chová velmi dobře, co se týče depolarizace. Jeho nevýhodou je vysoký lesk, který způsobuje nepříjemné odlesky lampy projektoru.

Skvělé výsledky jsou při projekci na aluminiovou fólii na její matnou stranu a to jak z pohledu polarizace, tak z pohledu kvality obrazu. Fólie má výborný světelný zisk díky malému odlesku do stran a zároveň matný povrch, který je dostatečně difúzní, aby rozptýlil silný odlesk lampy projektoru. Nevýhodou je menší pozorovací úhel – do 30° a náchylnost fólie na mechanické poškození.

Zinkový sprej nepodává uspokojivé výsledky. Po jeho zaschnutí je deklarováno složení vrstvy s 98% zinku. Jeho polarizační vlastnosti ale nejsou v porovnání s pozinkovaným plechem a AL fólií dostatečné.

Na trhu existují projekční plátna s vysokou reflexí do malého úhlu. Jedná se o plátna s povrchem typu S, který bývá metalický. Jsou poměrně cenově dostupná a je možné, že i vhodná pro projekci polarizovaným světlem.

1.11.3 Kalibrace projektorů

Pro správné vykreslení 3D obrazu je třeba zajistit, aby se oba obrazy promítaly přesně na svá místa. Jinými slovy se musí identické obrazy promítané projektory zobrazit na sebe. To lze zajistit kalibrací samotných projektorů (dle standardních možností přístrojů) nebo promítáním kalibrovaných obrazů. Ve vlastním programu provádím právě kalibraci promítaných obrazů.

Protože předpokládám rovinnou projekční plochu a jedná se o transformaci z 2D do 2D, vystačí pro kalibraci snímku perspektivní transformace. Perspektivní transformace, která je složena z elementárních transformací posunutí, rotace, zkosení a změna měřítka. Pro vytvoření transformační matice je třeba znalost změn (dvojic) alespoň čtyř bodů. Projektor kalibruji tak, že jím promítnu čtverec na plátno s vyobrazeným čtvercem. Jestliže není projektor správně kalibrován, je čtverec promítaný na plátno zdeformován a nesedí se čtvercem namalovaným na plátně. Souřadnice, kam je třeba vrcholy promítaného čtverce přesunou tak, aby seděly se čtvercem namalovaným na plátně, zjišťuji z polohy kurzoru myši na obrazovce, který přesouvám dle kurzoru promítaného projektorem. Využívám tak rastr obrazovky

jako souřadnicový systém, ve kterém provádím transformace, pro korekci polohy bodů na projektoru.

1.11.4 Experimenty – stereoskopická projekce

Pro stereoskopickou projekci jsem využil počítače s možností výstupu na dva monitory (projektory) a s možností rozšíření plochy na obě zařízení. Program je koncipován tak, že obraz pro každé oko zobrazuje do samostatného okna. Jedno okno je pak promítáno prvním projektorem a druhé okno druhým projektorem.

Nejprve jsem experimentoval s analogovým vytvořením anaglyfu. Namísto polarizačních filtrů jsem použil filtry barevné. Kvalita vzniklého anaglyfu není závislá na algoritmu obarvování snímků, ale pouze na kvalitě filtrů a použitých projektorů. Jsou-li filtry navzájem komplementární a jsou-li použity stejné filtry jak u projektorů, tak na brýlích, je eliminován výskyt duchů při pozorování. Pro co možná nejpřirozenější obraz by bylo vhodné použít filtry, které propouští stejnou energii světla s přihlédnutím na citlivost oka k jednotlivým spektrálním složkám světla.

Pro experimenty s polarizačními filtry byly pořízeny lineární polarizační filtry s rovinou polarizace 90° a 45° o tloušťce 0,4 mm a 0,8 mm a polarizační brýle s odpovídajícími filtry. Projektory jsem testoval typu LCD a DLP. Testovaný LCD projektor (Epson typ EMP-TW 620) není vhodný pro polarizační projekci a to díky samotné LCD technologii. Obraz je tvořen průchodem světla trojicí LCD displejů – pro každý barevný kanál zvlášť. Vlastností LCD displeje je, že procházející světlo polarizuje. Promítaný obraz je tedy z větší části polarizován. Problémem je, že u testovaného typu je červený kanál polarizován v jiné rovině, než zelený a modrý. Brýle pak nejsou schopny odstranit červenou složku. Použitím filtru před objektivem projektoru, nedostaneme nerovnoměrnou intenzitu barevných složek. Lze sice najít optimální úhel filtru, kdy je intenzita všech složek vyrovnána, rovina polarizovaného světla je pak ale různá od standardních 90° nebo 45° . Vhodnou konstrukcí by bylo možné vytvořit LCD projektor, jehož světlo by bylo polarizované bez použití filtru. Nedochovalo by tak ke ztrátě světelného výkonu na filtru.

Dále byly testovány projektory firmy 3M MP 8747. Jedná se o přístroje s technologií LCD. Orientace polarizační roviny LCD displejů je u těchto modelů vnějším pozorováním nezjistitelná, protože rovinná polarizace světla je na výstupu změněna v kruhovou. To umožňuje požadovanou orientaci zvolit polohou představeného filtru.

Druhý testovaný projektor - Acer DP 523PD s technologií DLP - ukázal, že DLP projektory nepromítají polarizované světlo. Polarizační rovinu je tak možné nastavit polohou filtru před projektorem. Nevýhodou je ztráta světelného výkonu na filtru a s tím spojený ohřev filtru. Při použití plastových filtrů je nutností filtry chladiť. K chlazení bylo použito dvojice ventilátorů.

Nevýhodou projekce pomocí polarizačních filtrů je, že divák musí mít brýle nasazené striktně rovnoběžně. Při odchylkách do 2° od roviny polarizace je zastínění ještě přijatelné. Odchylky nad 5° způsobují nedokonalé odstínění obrazů a objevování duchů v obraze.

2. ZÁVĚR

Protože člověk má prostorové binokulární vidění, je snaha doplnit stávající metody pro zobrazování obrazu o rozměr hloubky. Naprostá většina metod využívá právě binokulárního vidění člověka, snaží se tedy dopravit každému oku snímek scény z pohledu, odkud by se oko dívalo ve skutečnosti. Metody lze rozdělit na ty, u kterých potřebujeme pro pozorování pomůcky jako třeba brýle a na tzv. autostereoskopické, kde brýle nejsou potřeba.

V kapitole 1.7 je popsána nejprostší autostereoskopická metoda SIRDS. Obrazy SIRDS nejsou v praxi příliš použitelné. Obecně na ně není možné nanést texturu a pro pozorování prostorového jevu není triviální. Při sestavování algoritmu je ale možné pochopit základní problémy stereoskopie (akomodace, konvergence, disparita, paralaxa a vztahy mezi nimi). V rámci práce byl vytvořen program pro tvorbu SIRDS. Vstupními daty do programu je hloubková mapa.

V práci je dále popsána metoda tvorby anaglyfů, tedy stereoskopických obrazů pozorovatelných pomocí brýlí s barevnými filtry. Byly ověřeny a srovnány jednoduché metody tvorby páru stereofotografií a komplikace při sestavování anaglyfu (kalibrace barev anaglyfu, pozitivní a negativní paralaxa a její velikost). Máme-li kvalitní vstupní data – dva stereosnímky – lze vytvořit věrohodný prostorový efekt. Nevýhodou anaglyfu je, že barevné filtry nepropustí úplnou barevnou informaci. Na rozdílnost barevné informace si oči do jisté míry přivyknou. Kvalita 3D efektu je však subjektivní záležitost a závisí na individuálním stavu a návyku očí. Byl vytvořen program umožňující kalibraci barev a sestavení anaglyfu.

Další možností zobrazování prostorového obrazu je stereoskopické promítání pomocí dvojice projektorů. V kapitole 1.11 je popsán princip projekce při použití polarizačních filtrů. Jediná věc, na kterou je třeba myslet při jejich požití, je promítací plocha, která nesmí polarizované světlo zpět depolarizovat. Jejich výhodou oproti anaglyfu je věrné podání barev. Byl testován také postup při použití filtrů barevných. Je tak vytvořen anaglyf analogovou cestou, u kterého není nutná kalibrace barev.

V práci jsem se zabýval také možnostmi ukládání a přenosu prostorového obrazu. Stačí-li nám pohled na scénu pouze z jednoho místa, vystačíme pouze se dvěma stereosnímky. Pro účely např. 3DTV však s tak jednoduchou reprezentací nevystačíme. Je zde požadavek na více pohledů na scénu (např. když se na obrazovku díváme z různých úhlů). Jak získat taková data je naznačeno v kapitole 1.3. Nejlepší kompresi dat dostaneme vytvořením 3D modelu. Projekt ATTEST a firma Philips používá pro přenos informace o hloubce jeden pohled a hloubkovou mapu. Ostatní pohledy jsou generovány metodou DIBR popsanou v kapitole 1.10, ve které jsou také shrnuty její výhody a nevýhody. Informace je touto metodou efektivně komprimována a zároveň je dosaženo dobré obrazové kvality.

V kapitole 1.10.2 je popsáno řešení DIBR implementované v programu pro experimenty s generováním pohledu z hloubkové mapy. Vstupem do programu je obraz s texturou a hloubková mapa. Výstupem jsou stereosnímky s pohledem na scénu z různých pohledů nebo anaglyf. Lze nastavit parametry pro rendering a parametry anaglyfu.

Dále byl vytvořen program pro zpracování videa DIBR metodou. Výstupem je anaglyfické video a video, ve kterém jsou snímky pro levé a pravé oko umístěny v prostorovém multiplexu. Video v tomto formátu lze promítat pomocí naprogramovaného přehrávače. Přehrávač umožňuje kalibraci obrazů tak, jako je popsáno v 1.11.3.

Nejlepší obrazové kvality z realizovaných metod dosahuje projekce s polarizačními filtry. Na trhu však již jsou autostereoskopické monitory, které poskytují větší komfort při pozorování.

3. LITERATURA

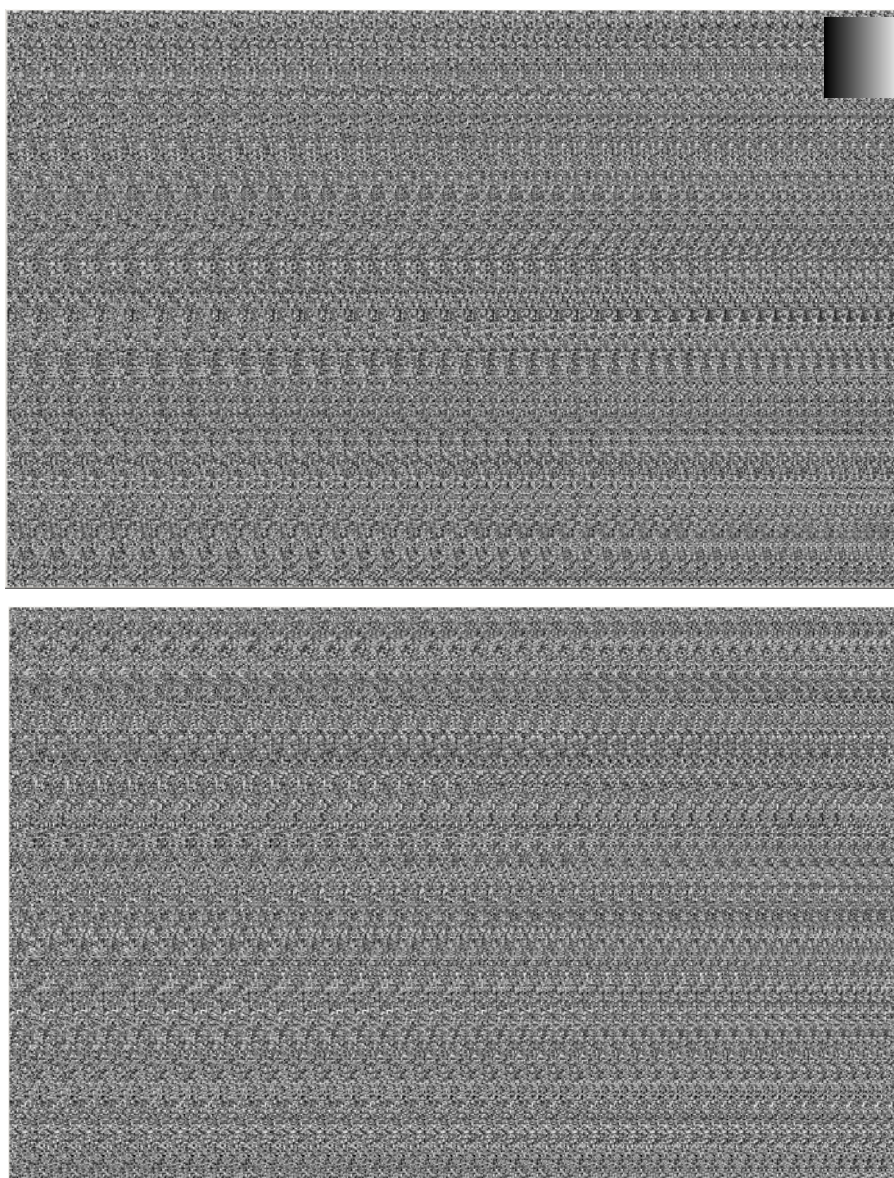
- [1] XUN, C., YEBIN, L., QIONGHAI, D., A Flexible *Client-Driven 3DTV System for Real-Time Acquisition, Transmission, and Display of Dynamic Scenes*. c2007 [cit. 2008-12-23]
- [2] STOLLE, H., et al. *Technical solutions for a full-resolution auto-stereoscopic 2D/3D display technology* . In *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*. 2008th edition. c2008. [cit. 2008-02-01].
- [3] FEHN, C., KAUFF, P., OP de BEECK, M., ERNST, F., IJSSELSTEIJN, W., POLLEFEYS, M., VAN GOOL, L., OFEK, E., SEXTON, I. *An Evolutionary and Optimised Approach on 3D-TV*, In Proc. IBC '02, pages 357-365, [online]. Amsterdam, Netherlands, September 2002 [cit. 2008-02-01]. <<http://www.cs.unc.edu/~marc/pubs/FehnIBC02.pdf>>
- [4] ONURAL, L., et al. *An asseement of 3DTV technologies. NAB Broadcast Engineering Conference* [online]. c2006 [cit. 2008-02-01]. <www.3dtv-research.org/publicDocs/publications/OnuralNAB06Assessment.pdf>.
- [5] SANDERS, W., MCALLISTER, D. F., *Producing Anaglyphs from Synthetic Images* [online]. [cit 2009-5-10]. <<http://research.csc.ncsu.edu/stereographics/ei03.pdf>>
- [6] *Wikipedie: HSV* [online]. [cit. 2009-5-10]. <<http://cs.wikipedia.org/wiki/HSV>>
- [7] *NewSight, Our Technology* [online]. c2009, [cit. 2009-5-10]. <<http://www.newsight.com/index.php?id=81>>
- [8] *SeeReal Technologies, Autostereoscopy* [online]. c2008, [cit. 2009-5-10]. <<http://www.seereal.com/en/autostereoscopy/NextGen.php>>
- [9] *Holografika, Technology Principles* [online]. [cit. 2009-5-10]. <http://holografika.com/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=63>

- [10] *3D stereoscopies displays* [online]. 2009-2-18 [cit. 2009-5-10].
 <<http://www.3dcgi.com/cooltech/displays/displays.htm>>
- [11] BUNGERT, Ch. *Stereo 3D displays* [online]. 1999-7-24 [cit.2009-4-10] <<http://www.stereo3d.com/displays.htm>>
- [12] *Stereogram FAQ* [online]. 1997-10-31 [cit.2009-4-10].
 <<http://www.kaacza.cz/stereo/faq/sirds/creation.html>>
- [13] SUN, H. *Multiview Video Coding*[online]. 2008-7-15 [cit.2009-4-10].http://www.ensc.sfu.ca/~jiel/ieee/20080715_sun.pdf
- [14] WHITE, P. *3D Interface Specification*[online]. 2008-2-15 [cit.2009-4-10].<http://www.business-sites.philips.com/images/3d/3dcontentinterfaceformats/downloads/Interface_white_paper.pdf>
- [15] *SeeReal Holographic Technology* [online]. c2007, [cit.2009-5-11].
 <http://www.seereal.com/en/holography/holography_technology.php>
- [16] WOWvx [online]. c2008, [cit. 2009-5-11]. <http://www.wowvx.com/>
- [17] *Basic of polarizing Microscopy* [online]. [cit. 2009-5-12]. <
http://www.colby.edu/personal/w/wasulliv/GE398%20Papers/Lab%20materials/seg_polar_basic_theory.pdf>
- [18] BASTL, J. *3D model z dvojice kamer*. Brno: VUT, FEKT. 2009, [cit. 2009-20-5]
- [19] FEHN, C. *3D TV Broadcasting* [online]. [cit.2009-5-11]. <
http://iphome.hhi.de/fehn/Publications/fehn_Wiley2005.pdf>
- [20] PARK, K.Y. – KIM, J. Depth-image-based rendering for 3DTV service over T-DMB. In *Signal Processing: Image Communication* 1. vyd. Elsevier, 2009. Kapitola 24, s. 122-136.
- [21] BRADSKI, G., KAEHLER A., *Learning OpenCV*. Ilustroval Robert Romano. 1. vyd. Sebastopol: O'Reilly Media, 2008. 577 s. ISBN: 978-0-596-51613-0.

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 SIRDS: s korekcí nelinearity a bez korekce;
- Příloha 2 ANAGLYF: galerie
- Příloha 3 Programy pro tvorbu SIRDS, ANAGLYFU, DIBR renderování
obrazu a videa a pro přehrávání videa

Příloha 1



Obrázek 28: SIRDS - nahoře s korekcí, dole bez korekce nelinearity, vzdálenost pozorovatele je 2382 pixelů odpovídá cca trojnásobku výšky obrázku

Příloha 2



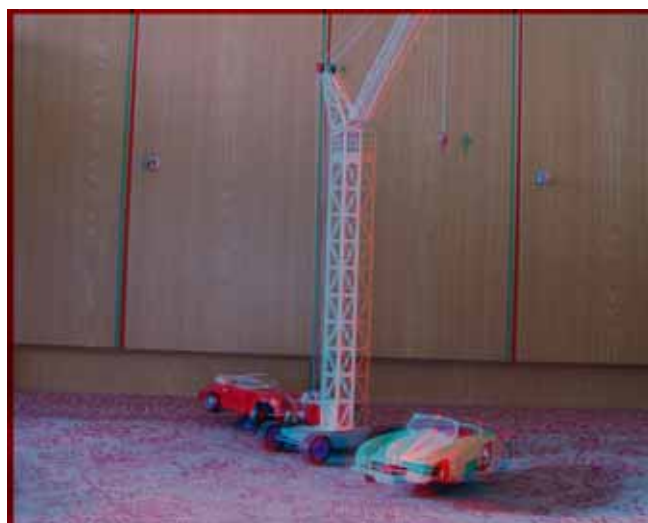
Obrázek 29: Nahoře – posun kamer o 15cm, dole – natočení kamer o 5 stupňů



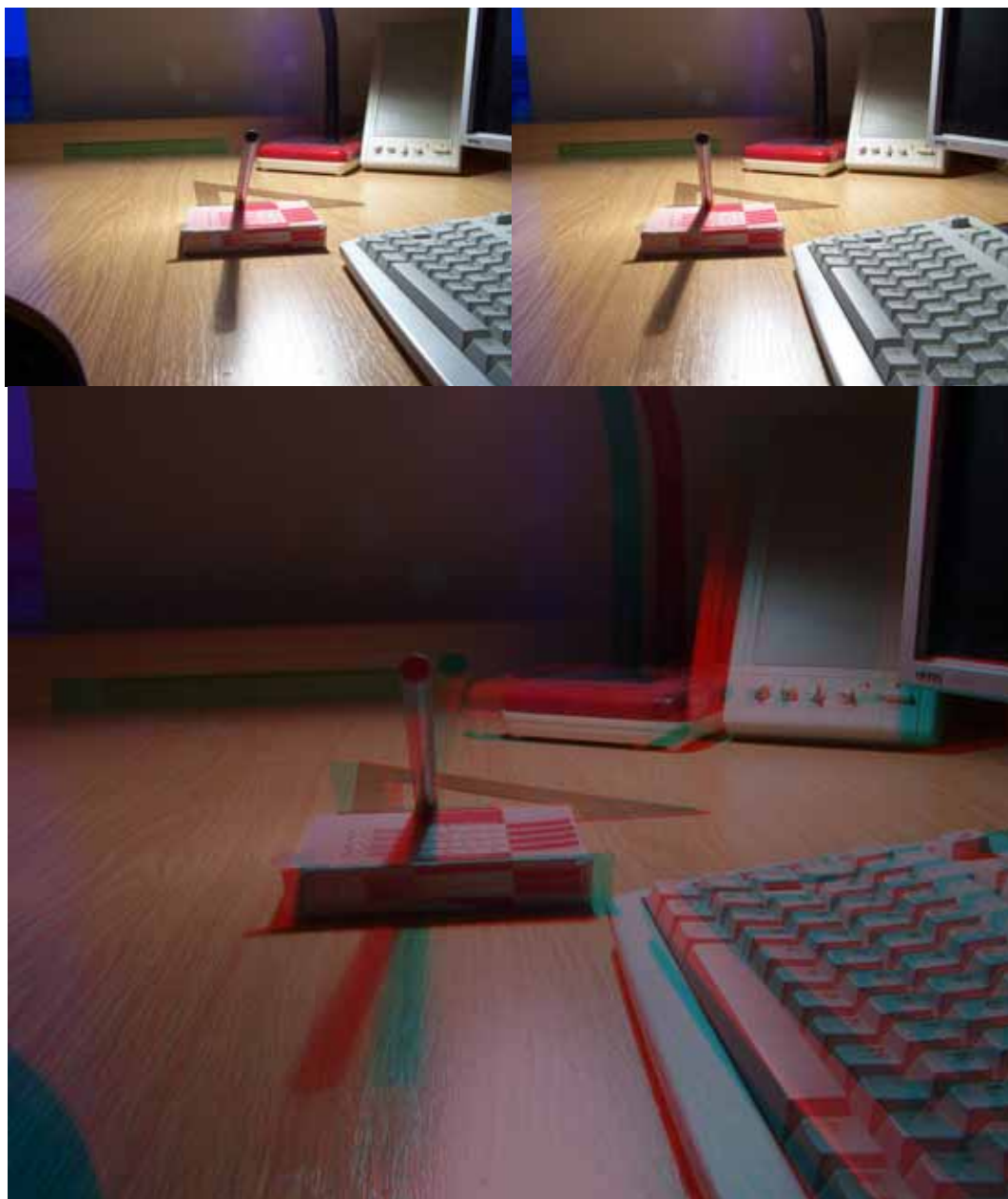
Obrázek 30: Anaglyf – kamery posunuty o 15 cm



Obrázek 31: Anaglyf – kamery natočené o 5°



Obrázek 32: Snímky blízké scény – kamery posunuty o 6 cm



Obrázek 33: Snímky blízké scény, vystupující obraz



Obrázek 34: Nerekřivené a rekrifikované snímky [18]